

Elastyczność wybranych silników samochodów elektrycznych

Wawrzyniec Gołębiewski

W artykule przedstawiono elastyczność wybranych silników samochodów elektrycznych. Do obiektów badań należały pojazdy, wiodących producentów światowych, wyposażone w napęd elektryczny. Badaniom poddano wytwarzane seryjnie modele samochodów koncernów Honda, Mercedes, Mitsubishi, Nissan, Renault, Tesla i Volkswagen. Na podstawie obliczeń stwierdzono, że najbardziej elastyczną jednostką napędową jest silnik elektryczny pojazdu volkswagen e-up, najmniej natomiast silnik tesla s.

Słowa kluczowe: elastyczność silników, samochody elektryczne

Wstęp

Elastyczność silnika jest wskaźnikiem możliwości eksploatacyjnych samochodu, który poprawia właściwości trakcyjne pojazdu, dzięki czemu wykazuje się on większą zdolnością do przyspieszania czy pokonywania wzniesień. Ułatwia to zdecydowanie jazdę samochodem, gdyż rozpiętość obrotów między momentem i mocą maksymalną jest duża, samochód dysponuje tzw. „długimi biegami”. W przeciętnych warunkach drogowych nie trzeba często zmieniać biegów, na każdym przełożeniu można z powodzeniem jechać z małą lub dużą szybkością [1].

Samochody elektryczne często wyposażone są wyłącznie w stałe przełożenie (przekładnia główna). Rezygnacja ze skrzyni biegów w układzie napędowym jest konstrukcyjnie uwarunkowana bardzo korzystną charakterystyką momentu obrotowego silnika elektrycznego. Kierowca nie jest zmuszony do zmiany biegów, wybiera tylko tryb jazdy samochodem elektrycznym (D,N,R,P lub Power,Eco), a w trakcie jazdy „reguluje” właściwościami trakcyjnymi pojazdu (w zależności od warunków drogowych) tylko i wyłącznie za pomocą pedału przyspieszenia [10].

1. Elastyczność silnika

Elastyczność silnika jest to jego samoczynna zdolność przystosowania się do zmieniających obciążeń. Jest ona iloczynem elastyczności momentu obrotowego ($e_{T_{iq}}$) i elastyczności prędkości obrotowej (e_n) [4,11,12,13].

$$e = e_{T_{iq}} \cdot e_n \quad (1)$$

Elastyczność momentu obrotowego jest to stosunek maksymalnego momentu obrotowego (T_{iqmax}) do momentu przy mocy znamionowej silnika (T_{iqPd}) [4,11,12,13].

$$e_{T_{iq}} = \frac{T_{iq \max}}{T_{iqPd}} \quad (2)$$

Elastyczność prędkości obrotowej jest to stosunek znamionowej prędkości obrotowej (n_{Pd}) do prędkości obrotowej maksymalnego momentu obrotowego ($n_{T_{iqmax}}$) [4, 11,12,13].

$$e_n = \frac{n_{Pd}}{n_{T_{iq \max}}} \quad (3)$$

Na podstawie podanych relacji wyznaczana jest elastyczność całkowita silnika, która przyjmuje wartości zgodnie z tab.1.

Tab.1. Wartości elastyczności silników [9]

wartość elastyczności	elastyczność silnika
$e < 1,6$	silnik nieelastyczny
$2 > e \geq 1,6$	silnik małoelastyczny
$2,8 > e \geq 2$	silnik średnioelastyczny
$3,8 \geq e \geq 2,8$	silnik wysokoelastyczny
$e > 3,8$	silnik o bardzo dużej elastyczności

2. Cel badań

Celem badań było wyznaczenie wartości elastyczności jednostek napędowych wybranych pojazdów elektrycznych.

3. Obiekty badań

Do obiektów badań należały pojazdy wiodących producentów światowych wyposażone w napęd elektryczny. Badaniom poddano wytwarzane seryjnie modele samochodów koncernów Honda, Mercedes, Mitsubishi, Nissan, Renault, Tesla i Volkswagen. Wybrane parametry techniczne pojazdów zostały zaprezentowane w tab.2.

4. Metodyka badań

Metodyka badań zakładała wyznaczenie elastyczności silników podanych obiektów badań na podstawie charakterystyk prędkościowych (zewnętrznych) wykorzystując zależności (1), (2) i (3).

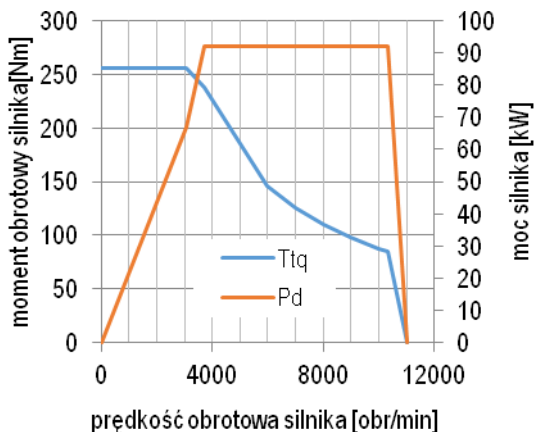
Tab. 2. Wybrane parametry techniczne samochodów elektrycznych [8,14,6,7]

pojazd	m [kg]	P ^d [kW]	rodzaj zastosowanego napędu	akum./ energia	V _{max} [km/h]	r [km]
honda fit ev	1475	92	silnik elektryczny synchroniczny prądu zmiennego	Li-Ion, 20 kWh	145	210
mercedes sls amg e-cell	2000	392	cztery synchroniczne silniki elektryczne	Li-polimerowe, 48 kWh	250	175
mitsubishi i-miev	1100	49	silnik elektryczny synchroniczny z magnesami trwałymi	Li-Ion, 16 kWh	130	150
nissan leaf	1525	80	silnik elektryczny synchroniczny z uzwojeniem wzbudzenia w wirniku	Li-Ion, 24 kWh	144	160
renault fluence	1543	70	silnik synchroniczny z uzwojeniem wzbudzenia w wirniku	Li-Ion, 22 kWh	135	160
vw e-golf	1545	85	silnik elektryczny synchroniczny z magnesami trwałymi	Li-Ion, 26.5 kWh	135	150
vw e-up	1229	60	silnik synchroniczny prądu przemiennego	Li-Ion, 18.7 kWh	130	160
tesla roadster	1200	215	trójfazowy, czterobiegunowy silnik indukcyjny	Li-Ion, 53 kWh	200	390

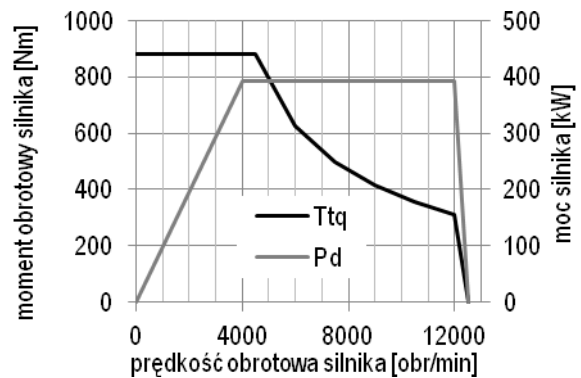
gdzie: m – masa pojazdu, P^d – moc silnika, V_{max} – prędkość maksymalna, r – zasięg.

5. Charakterystyki prędkościowe badanych silników

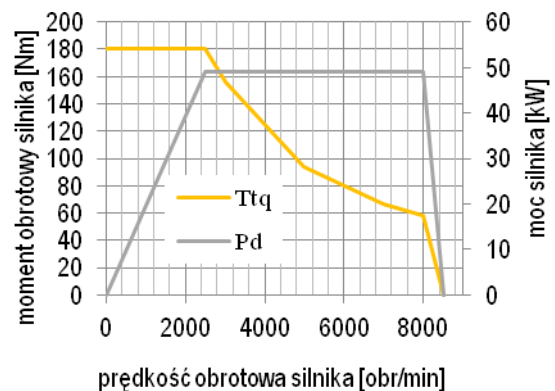
Poniżej na podstawie danych producentów zaprezentowano charakterystyki prędkościowe silników poddanych symulacji. Należy zauważyć, że uwzględniono wykorzystanie silników w fazach napędzania, nie uwzględniając charakterystyki odzysku energii pojazdu (pole ujemnego momentu obrotowego silnika).



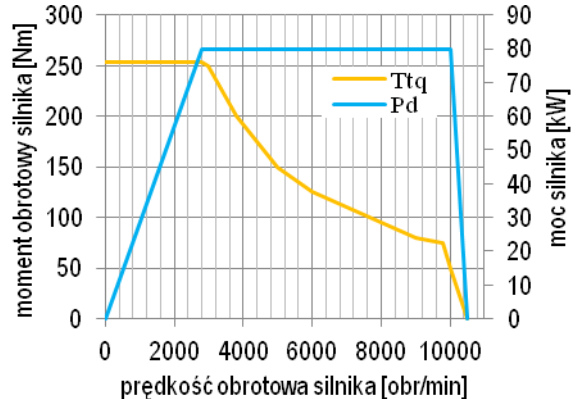
Rys. 1. Charakterystyka prędkościowa honda fit ev



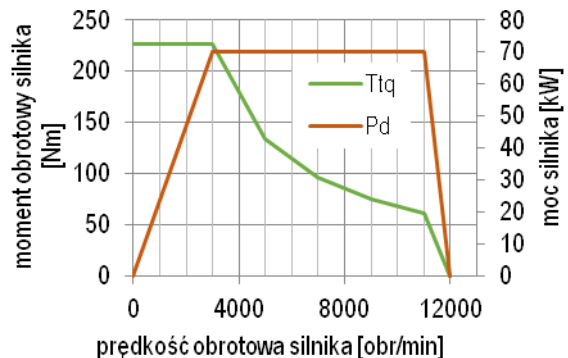
Rys. 2. Charakterystyka prędkościowa mercedes sls amg e-cell



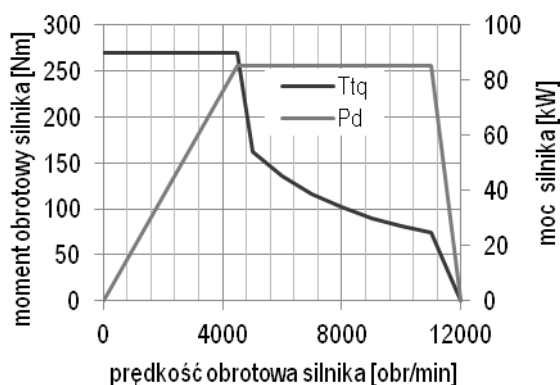
Rys. 3. Charakterystyka prędkościowa mitsubishi i-miev



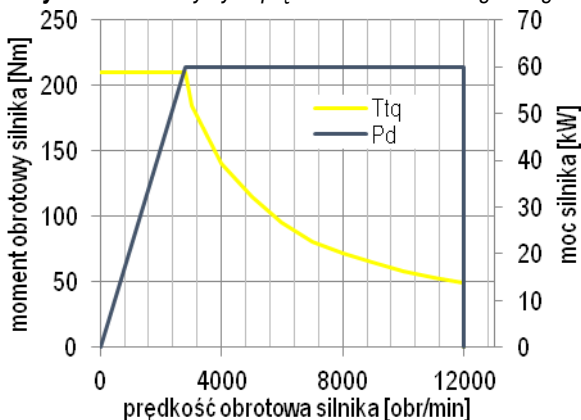
Rys. 4. Charakterystyka prędkościowa nissan leaf



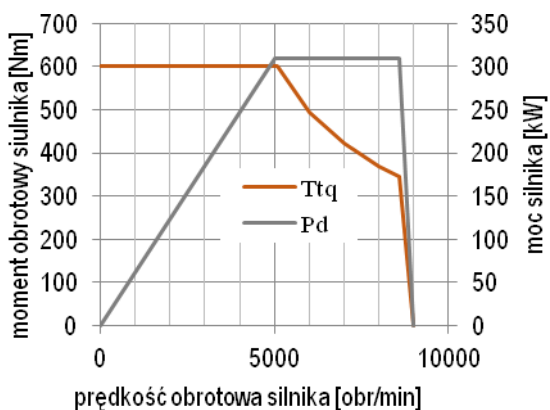
Rys. 5. Charakterystyka prędkościowa renault fluence ze



Rys.6. Charakterystyka prędkościowa volkswagen e-golf



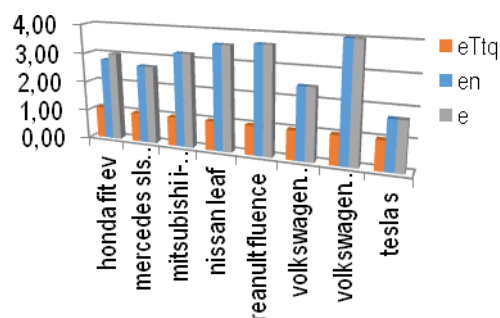
Rys.7. Charakterystyka prędkościowa volkswagen e - up



Rys.8. Charakterystyka prędkościowa tesla s

6. Wyniki

Na podstawie zależności wyznaczono elastyczność prędkości obrotowej, elastyczność momentu obrotowego i elastyczność całkowitą badanych silników. Poniżej została zaprezentowana zbiorcza charakterystyka podanych parametrów dla wskazanych jednostek napędowych.



Rys.9. Elastyczność wybranych silników samochodów elektrycznych: eTq – elastyczność momentu obrotowego silnika/ków, en – elastyczność prędkości obrotowej silnika, e – elastyczność całkowita

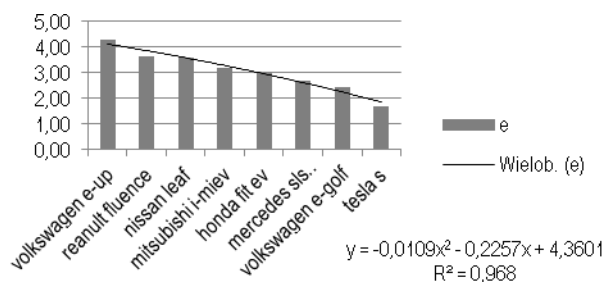
Na podstawie powyższego wykresu wywnioskowano, że najbardziej elastyczną jednostką napędową jest silnik elektryczny pojazdu volkswagen e-up, najmniej natomiast silnik tesla s. Poniżej w tabeli 3 zaprezentowano analizę elastyczności poszczególnych pojazdów:

Tab.3. Elastyczność wybranych pojazdów elektrycznych

pojazd	elastyczność silnika elektrycznego
honda fit ev	wysokoelastyczny
mercedes sls amg e-cell	średnioelastyczny
mitsubishi i-miev	wysokoelastyczny
nissan leaf	wysokoelastyczny
reanult fluence	wysokoelastyczny
volkswagen e-golf	średnioelastyczny
volkswagen e-up	bardzo duża elastyczność
tesla s	maloelastyczny

7. Analiza statystyczna wyników (analiza zgodności)

W celu sprawdzenia zgodności wartości teoretycznych z rzeczywistymi została przeprowadzona analiza statystyczna zebranych wartości. Wyliczone wartości elastyczności całkowitej silników zostały porównane z wartościami teoretycznymi uzyskanymi przez dobór odpowiedniej krzywej trendu (rys.10). Następnie ze wzorów statystycznych obliczono współczynnik zgodności (tabela 4).



Rys.10. Elastyczność wybranych silników samochodów elektrycznych z dobraną krzywą trendu

Tab.4. Obliczanie współczynnika zgodności φ^2 dla silników samochodów elektrycznych

pojazd	e	w.teoret. e	e-ei= Δ	Δ^2
volkswagen e-up	4,290	4,125	0,16	0,03
reanult fluence	3,670	3,870	-0,20	0,04
nissan leaf	3,570	3,675	-0,10	0,01
mitsubishi i-miev	3,200	3,450	-0,25	0,06
honda fit ev	3,010	3,225	-0,22	0,05
mercedes sls amg e-cell	2,670	3,000	-0,33	0,11
volkswagen e-golf	2,440	2,775	-0,33	0,11
tesla s	1,690	2,550	-0,86	0,75
			suma	1,15

Współczynnik zgodności został wyznaczony z następującej relacji [5]:

$$\varphi^2 = \frac{\Delta^2}{n \cdot s^2} \quad (4)$$

gdzie:

Δ^2 -

n - ilość samochodów,

s^2 - wariancja cechy e = 0,653.

$$\varphi^2 = \frac{0,653}{8 \cdot 1,15} = 0,22$$

$$\varphi^2 = 22 \%$$

Oznacza to, że wartości rzeczywiste i teoretyczne nie są zgodne w 22 %. Zatem są zgodne w 78 %.

8. Wnioski

Zaprezentowane samochody elektryczne charakteryzują się różną elastycznością silnika. Są to zarówno pojazdy mało elastyczne, średnio i wysoko elastyczne, jak i o bardzo dużej elastyczności. Najbardziej elastycznym pojazdem był volkswagen e-up, a najmniej elastycznym tesla s (co wcale nie świadczy o jego słabych paramterach dynamicznych). W przypadku tesli jest to spowodowane wąskim zakresem (prędkości obrotowe) zmiany wartości momentu obrotowego.

Zgodność wartości rzeczywistych i teoretycznych, na podstawie przeprowadzonej analizy, nie osiągnęła znaczącej wartości (tylko 0,78), co mogło być spowodowane małą liczbą pojazdów. W przyszłości, gdy samochodów tego typu będzie jeszcze więcej analiza zostanie przeprowadzona na większej próbcie.

Bibliografia

1. Dyszy J.: *Charakterystyka silników tłokowych*. AUTO-Technika Motoryzacyjna 2007, nr 4.

- Gołębiewski W. Prajowski K., Zastosowanie hamowni drogowej do oceny właściwości ruchowych pojazdu. *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 2015, nr 6.
- Gołębiewski W. Prajowski K., Zastosowanie hamowni drogowej do wyznaczenia parametrów operacyjnych silnika. *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 2015, nr 6.
- Gołębiewski W., *Elastyczność silników koncernu Volkswagen. Zagadnienia konstrukcji i eksploatacji maszyn i pojazdów*. Monografia. Lubelskie Towarzystwo Naukowe. Lublin 2010.
- Hozer J.Red.: *Statystyka*. Katedra Ekonometrii i Statystyki Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania Uniwersytetu Szczecińskiego. Szczecin 1998.
- <http://automobiles.honda.com/fit-ev/specifications.aspx>
- http://samochodyelektryczne.org/mercedes_benz_sls_amg_e-cell.htm
- Kołodziejczyk J., Moćko W., Zastosowanie symulacji komputerowej do analizy zużycia energii przez samochód elektryczny. *Transport Samochodowy* nr 1/2014, 2014.
- Lisowski M., *Teoria ruchu samochodu. Teoria napędu*. Politechnika Szczecińska, Szczecin 2003.
- Merkisz J., Pielecha I., *Układy elektryczne pojazdów hybrydowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2015.
- Mysłowski J., *Elastyczność turbodoładowanych silników ciągnikowych*. MOTROL Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Wydawnictwo Akademii Rolniczej. Lublin 2001.
- Mysłowski J., Gołębiewski W., *Elastyczność silników FIAT*. *Archiwum Motoryzacji*. Nr 4/2009. Wydawnictwo naukowe PTNM. Radom 2009.
- Mysłowski J., Kołtun J., *Elastyczność tłokowych silników spalinowych*. WNT. Warszawa 2000.
- Zimmer M., Neusser H.J., Luck P., Kruse G., *The electric drive of the Volkswagen e-up! – a step towards modular electrification of the powertrain*. 34. Internationales Wiener Motorensymposium 2013, Wien 2013.

Autorzy:

dr inż. Wawrzyniec Gołębiewski – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych, Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin

Flexibility of motors of selected electric vehicles

The article presents flexibility of motors of electric cars. Test objects were world's leading manufacturers vehicles equipped with electric drive. The tests were conducted in series car models companies of Honda, Mercedes, Mitsubishi, Nissan, Renault, Volkswagen and Tesla. On the basis of calculations, it was found that the most flexible drive unit is an electric motor vehicle vw e-up, at least while the engine tesla s.

Key words: engine flexibility , electric vehicles, electric motors